

UNIVERSIDADE DE UBERABA

CAROLINE MORAIS FLORES

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DE PARÂMETROS DE ANÁLISE DE
ÁGUA DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO EM EMPRESA DE
UBERABA - MG**

UBERABA
2018

CAROLINE MORAIS FLORES

**ESTUDO EXPLORATÓRIO DE PARÂMETROS DE ANÁLISE DE
ÁGUA DE UMA TORRE DE RESFRIAMENTO EM EMPRESA DE
UBERABA - MG**

Monografia apresentada à Universidade de Uberaba , como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Químico.

Orientador: Prof. Dr. David Maikel Fernandes

BANCA EXAMINADORA

Prof. Mauro Luiz Begnini

Prof. Wilson Sousa Benjamin

AGRADECIMENTOS

A Deus , Senhor da minha vida, dos meus sonhos e dos meus planos, por ter me permitido chegar até aqui, me dando toda a força para superar os obstáculos e vencer.

Aos meus amigos , família que Deus me deu, por todo o apoio, compreensão e incentivo para que esse momento se tornasse realidade.

A minha família, por um dia terem entendido meu sonho.

Ao meu orientador , Prof. David Maikel, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelo direcionamento para que este trabalho estivesse pronto.

Ao Gustavo Rodrigues que prontamente me auxiliou no levantamento de dados e material para realizar a pesquisa.

Ao Luiz Gustavo Campanha, meu supervisor, pelo incentivo e compreensão.

Ao Luiz José Martim, que mesmo sem me conhecer foi tão prestativo em auxiliar com seu conhecimento e experiência na área estudada.

Ao Luis Donizetti, por ter se prontificado a assinar o meu financiamento estudantil, que me permitiu no fim dessa etapa, realizar esse trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, minha eterna gratidão.

EPÍGRAFE

“ Porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas.
A Ele para sempre a glória, Amém.”

Romanos 11:36

RESUMO

FLORES, C . **Estudo exploratório de parâmetros de análise de água de uma torre de resfriamento em empresa de Uberaba- MG** 2018. Monografia – Universidade de Uberaba, Uberaba, 2018.

Presentes em indústrias de diversos segmentos, as torres de resfriamento são equipamentos que tem como principal finalidade realizar a diminuição da temperatura da água advinda de processos. São formadas por uma coluna onde ocorre a transferência de calor e também de massa, que é utilizada para que haja grande contato entre a corrente de água aquecida do processo e uma corrente de ar, isto através do recheio da torre. Quando acontece o contato de forma direta entre as correntes, ocorre a evaporação da água, o que resfria a mesma. Pelas forma de operação das torres e os fenômenos ocorridos nelas (a evaporação, que é quando ocorre a concentração dos íons na água de circulação e o contato de forma direta entre água e ar, que facilita o arraste de contaminantes do mesmo), um tratamento correto e ideal dessa água circulante é uma condição fundamental para o bom funcionamento destas. Este trabalho tem como ponto principal o estudo dos laudos de análises da água presente na torre de resfriamento de uma empresa em Uberaba, para que seja possível realizar a correlação dos parâmetros analisados, além da relação dos resultados com interferentes. Foram coletados dados de análises de cinco meses consecutivos, janeiro, fevereiro, março, abril e maio do ano de 2018, e realizada a comparação dos mesmos e conseqüente conclusão. O objetivo primordial deste trabalho será constatar a necessidade de um rigoroso controle da qualidade das águas de resfriamento utilizadas na indústria , visando a maior conservação dos equipamentos, além de processos e troca de calor mais efetivos.

Palavras chave : Torres de Resfriamento. Qualidade da água. Parâmetros de controle. Precipitação.

ABSTRACT

FLORES, C . **Exploratory study of water analysis parameters of a cooling tower in Uberaba- MG 2018.** Monograph Project - Universidade de Uberaba, Uberaba, 2018.

Cooling towers are equipment that have as main purpose the cooling of water. They are essentially composed of a mass transfer and heat transfer column designed to allow a large area of contact between a stream of heated water and a stream of air through a filling. In direct contact between the two currents occurs the evaporation of water, the main phenomenon that produces its cooling. Due to the operational characteristics of the cooling towers (evaporation, which concentrates the ions in the circulating water and the intimate contact between water and air, which can drag contaminants of this), a correct treatment of water is a fundamental condition for the proper functioning of these. This work has as main focus the study of the reports of water analysis present in the cooling tower of a company in Uberaba, so that it is possible to perform the correlation of the analyzed parameters, besides the relation of the results with interferers such as rainy months or not. Data were collected from five consecutive months, January, February, March, April and May of the year 2018, and a comparison was made of the same and consequent conclusion. The main objective of this work will be to verify the need for a rigorous control of the quality of the cooling waters used in the industry, aiming at the greater conservation of the equipment, in addition to more effective processes and heat exchange.

Keywords: Cooling towers. Water quality. Control Parameters. Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Aquecimento da água de resfriamento no trocador de calor.....	13
Figura 2- Sistema de resfriamento aberto com recirculação	14
Figura 3-Torre de resfriamento de sistema fechado.....	15
Figura 4 - Esquema torre de resfriamento de sistema fechado.....	15
Figura 5- Sistemas de distribuição de água	18
Figura 6- Relação entre os fluxos de água e ar.....	18
Figura 7- Torre de resfriamento atmosférica	19
Figura 8- Torre de resfriamento em contracorrente com aspiração forçada.....	20
Figura 9- Torre de resfriamento em contracorrente com aspiração induzida	21

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Taxa de corrosão em função do pH da água.....	22
Gráfico 2 - Solubilidade de CaCO_3 em águas quentes e frias.....	23
Gráfico 3 - Resultados das análises de alcalinidade total e pH.....	29
Gráfico 4 - Resultados da análise de cloretos.....	30
Gráfico 5 - Resultados da análise de condutividade.....	32
Gráfico 6 - Resultados da análise de dureza total.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Conversão da condutividade para TDS.....	24
Tabela 2 - Resultados das análises da água de circulação, comparando com os respectivos controles.....	28

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVOS.....	12
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1.	A IMPORTÂNCIA DAS TORRES DE RESFRIAMENTO	13
3.2.	TERMOS REFERENTES ÀS TORRES DE RESFRIAMENTO.....	16
3.3.	TIPOS E CLASSIFICAÇÃO	17
3.3.1.	Torres atmosféricas	19
3.3.2.	Torres de tiragem mecânica forçada ou induzida	20
3.4.	PRINCIPAIS PARÂMETROS DE ÁGUA CONTROLADOS EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO ²¹	
3.4.1.	pH.....	21
3.4.2.	Dureza	22
3.4.3.	Teor de ferro	23
3.4.4.	Alcalinidade Total	23
3.4.5.	Sílica.....	24
3.4.6.	Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS).....	24
3.4.7.	Cloretos	24
4.	METODOLOGIA	25
4.1.1.	Método: Pesquisa descritiva	25
4.1.2.	O Objeto de estudo.....	25
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1.1.	Coleta de dados.....	27
5.1.2.	Feedback dos dados	27
5.1.	Análises dos dados	28
5.2.	Alcalinidade Total e pH	28
5.2.1.	Cloretos	30
5.3.	Sílica	31
5.4.	Condutividade	32
5.4.1.	Ferro Total	32
5.4.2.	Dureza Total	33
5.5.	Análise geral	34
6.	CONCLUSÃO	35
7.	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

Nos diferentes tipos de indústrias as torres de resfriamento são equipamentos utilizados para a remoção do calor que é gerado no processo. Através da transferência de massa e calor, através do contato do ar com a água que passa na torre, ocorre o resfriamento da mesma. Esse processo de resfriamento ocorre pela transferência de calor latente (evaporação da água) e sensível (diferença de temperatura entre o ar e a água), que são responsáveis por, 80% e 20% de todo o calor transferido (ALPINA, 2014). A reposição da água é realizada após certo tempo por conta das perdas no processo, pelas purgas e evaporação da mesma.

Esses equipamentos são voltados quando há grande necessidade de resfriamento, pois é uma forma mais simples e econômica para realizar esse processo. De um modo geral, são utilizadas em instalações industriais como também em qualquer outro tipo de complexo que apresente grande demanda de resfriamento de água advinda do processo.

A água circulante no processo, apresenta quantidade de sólidos dissolvidos e microorganismos, sendo requerido o tratamento da mesma. No caso de isso não ocorrer, fenômenos como corrosão, depósitos e proliferação de bactérias e fungos, tornam-se comuns, o que dificulta a troca de calor na torre, diminuindo a sua eficiência, além de comprometer a estrutura e o funcionamento do equipamento (NALCO, 2009).

É necessário o controle de parâmetros de qualidade da água utilizada em torres de resfriamento, o que garante a confiabilidade de que o processo de troca térmica e a preservação das tubulações e equipamentos do sistema seja efetivo. As indústrias se utilizam de diversas formas para se fazer esse controle, desde testes regulares a tratamentos específicos desse componente essencial ao funcionamento da mesma, pois grande parte dos processos depende dela e levando em conta que uma vez que mesmo pequenas oscilações desses parâmetros podem, muitas vezes, além de prejudicar a produção ainda comprometer a segurança do processo.

Atualmente, as plantas industriais contam com torres de resfriamento em diversos setores e acopladas a vários equipamentos, entre eles compressores, condensadores de coluna de destilação, uso no resfriamento de produtos para estocagem em tanques, e outros que requerem um controle de temperatura e remoção de calor.

Este trabalho foi desenvolvido visando analisar os parâmetros de qualidade no tratamento de água circulante de uma torre de resfriamento em uma empresa de Uberaba, que utiliza esse equipamento para manter o funcionamento do sistema de compressores de ar.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho foi analisar dados de análises de água de uma torre de resfriamento e verificar alterações em meses seguidos, e posteriormente correlacionar os dados obtidos.

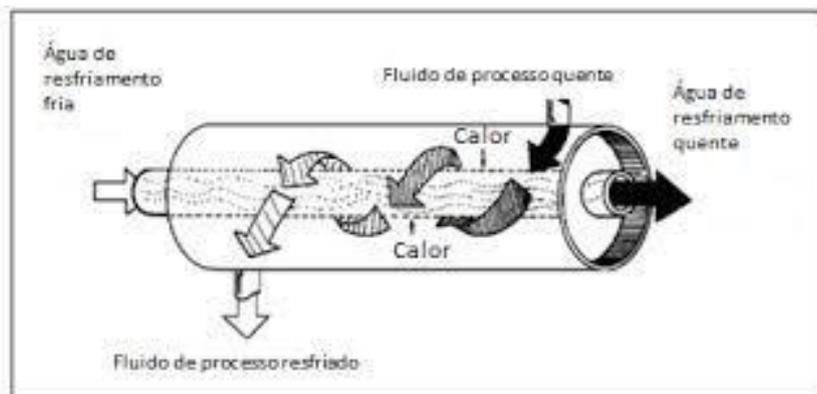
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A IMPORTÂNCIA DAS TORRES DE RESFRIAMENTO

Torres de resfriamento são equipamentos primordiais para a maior parte dos processos industriais que utilizam a água como líquido de troca de calor. Esses sistemas realizam o controle da temperatura através da transferência do calor gerado pelo fluido que está aquecido após passar pelo processo e vai direto para a torre de resfriamento, que é responsável por transferir esse calor para o ambiente externo. Com isso, a água utilizada para o resfriamento, passa a estar aquecida, precisando então ser resfriada ou então ser realizada a reposição da mesma (Figura 1).

É correto dizer que a eficiência do processo de resfriamento depende diretamente da capacidade do sistema em fazer permanecer uma temperatura considerada ideal para esse tipo de operação. O tipo de projeto e a efetividade dessa torre tem dependência direta do tipo de processo em que a água é utilizada, das características dessa e ainda das condições ambientais (NALCO, 2014).

Figura 1- Aquecimento da água de resfriamento no trocador de calor

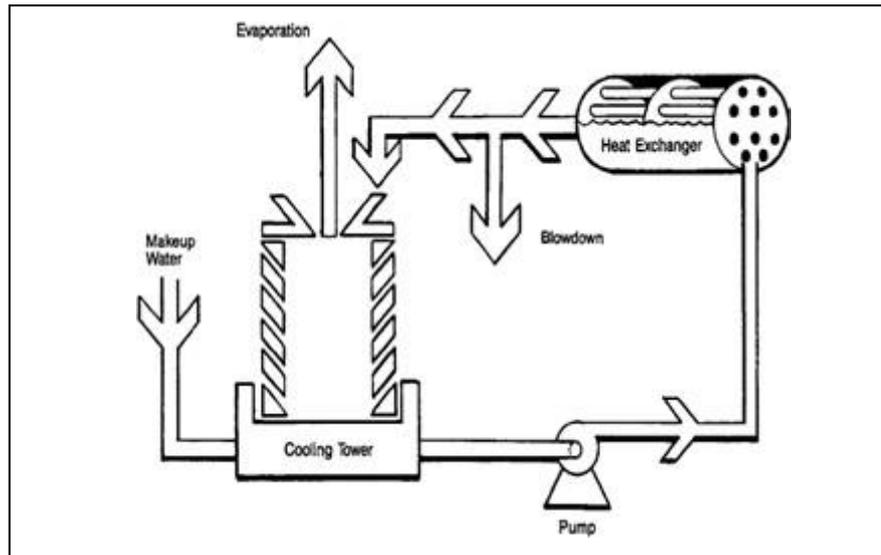


Fonte: Nalco, 2014.

Como mostrado na Figura 2, o sistema aberto é composto por uma bomba, mais os trocadores de calor e a torre responsável pelo resfriamento. A bomba é utilizada para recircular a água pelos trocadores, estes transferem o calor para a torre que faz com que ocorra a evaporação e o conseqüente resfriamento da água. Devido à

evaporação que ocorre, há a concentração dos sólidos suspensos e os dissolvidos (NALCO, 2014). Para que haja a redução do acúmulo desses sólidos, é realizada a purga dessa água que fica na bacia das torres de resfriamento, procedimento realizado periodicamente.

Figura 2- Sistema de resfriamento aberto com recirculação



Fonte: Nalco, 2014.

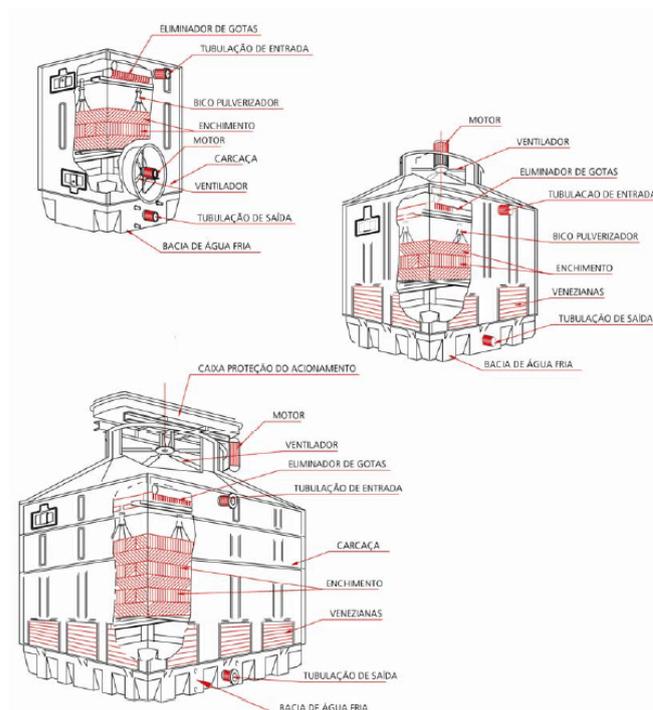
As torres de resfriamento que possuem um circuito fechado apresentam três fluidos de escoamento, sendo dois deles que ficam em contato e um deles em circuito fechado, que troca calor com os demais através de uma serpentina. Para essas torres tem-se normalmente um escoamento de ar em contato direto com um circuito aberto de água, e no meio outro circuito de água (fechado) ou de outro fluido a ser resfriado. No presente trabalho os parâmetros utilizados foram de uma torre de sistema fechado, como a apresentada na Figuras 3 e 4.

Figura 3-Torre de resfriamento de sistema fechado



Disponível em: <https://www.evapco.com.br/pt-br/products/torres-de-resfriamento-montadazz-de-fabrica/torre-de-resfriamento-sct>
 Acesso em : 29 nov. 2018

Figura 4 - Esquema torre de resfriamento de sistema fechado



Disponível em: <http://torresresfriamento.com.br/tr/19/torre-de-resfriamento-funcionamento/manual-de-funcionamento-de-uma-torre-de-resfriamento/>
 Acesso em : 29 nov. 2018

3.2. TERMOS REFERENTES ÀS TORRES DE RESFRIAMENTO

Em se tratando de torres de resfriamento, utilizam-se termos próprios. Para Stanford III (2003), tais termos tem grande importância para um entendimento claro sobre esses equipamentos. Segue:

- Recheio (“enchimento”): onde acontece a transferência de calor dentro da torre de resfriamento. É projetado para que o contato entre a água a ser resfriada e o ar seja o maior e mais eficiente possível
- Bicos dispersores: controlam o fluxo de água na torre, como “sprays”.
- Bacia coletora: coleta a água resfriada que passa pelo recheio e que volta para o processo.
- Ventiladores: pás que fazem o fluxo de ar fluir através da torre.
- Eliminador de gotículas: impede ou minimiza a perda de água por arraste na corrente de saída de ar que se localiza no topo da torre, direto para a atmosfera.
- Arraste: perdas de gotículas de águas através do sistema de exaustão de ar, que não sofreram evaporação..
- Aproximação ao bulbo úmido: diferença entre a temperatura da água que sai da torre e a temperatura de bulbo úmido.
- Salto térmico: diferença entre as temperaturas de saída e de entrada de água na torre.
- Reposição: água de reposição das perdas por evaporação, arraste e purga.
- Purga: água descartada do sistema com a finalidade de controlar a concentração de sólidos e/ou outras impurezas da água.

- Capacidade térmica: quantidade total de calor dissipada para uma determinada vazão, aproximação ao bulbo úmido e temperatura de bulbo úmido.
- Evaporação: mudança de estado da água do estado líquido para vapor.
- Pluma: mistura de vapor e ar aquecido que deixa a torre de resfriamento. Em contato com o ar ambiente, a pluma é visível.
- Ciclo de concentração: indica quantas vezes a concentração de um soluto não volátil que está na água de recirculação é maior do que sua concentração no soluto na água de reposição.
- Temperatura de bulbo seco: é a temperatura do ar.
- Temperatura de bulbo úmido: de acordo com McCabe, Smith, Harriot (2005), essa é a temperatura que uma porção de água atinge em regime permanente, quando está em contato com uma corrente contínua de ar não saturado, em condições adiabáticas, sem efeito de radiação térmica. É a temperatura mais baixa que pode ser alcançada quando se tem só a evaporação da água. Apresenta-se como a umidade do ar, e quanto menor for a umidade relativa do ar, maior o é o grau de resfriamento.

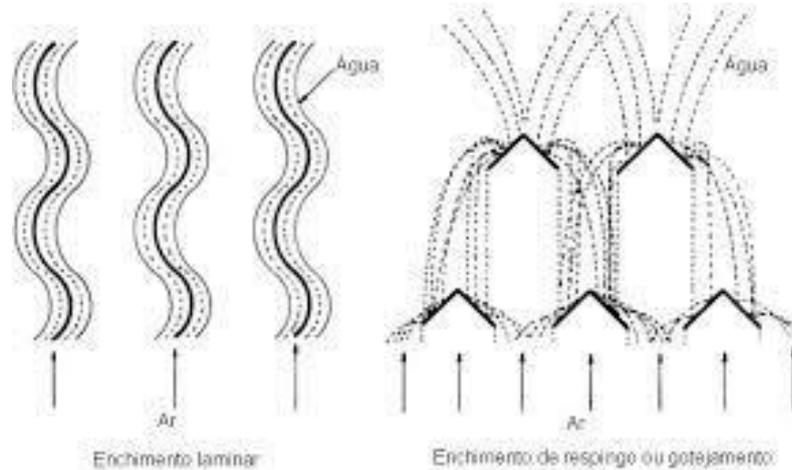
3.3. TIPOS E CLASSIFICAÇÃO

Torre de resfriamento é um equipamento que realiza a remoção de calor de uma corrente de água para o ar atmosférico com conseqüente resfriamento de água (COOLING TOWER INSTITUTE, 2007).

São vários os meios para a exposição da água à corrente de ar, apresentando cada um vantagens específicas que devem ser levadas em conta de acordo com a aplicação e o rendimento requeridos em cada caso de utilização. Uma classificação é dada pelo meio com que a água distribui-se para que haja um bom contato com o

ar ascendente. Apresenta dois métodos principais: a água é estendida em camadas finas sobre superfícies ou produz-se gotas através do choque da água na sua queda. Observa-se na Figura 5.

Figura 5-Sistemas de distribuição de água

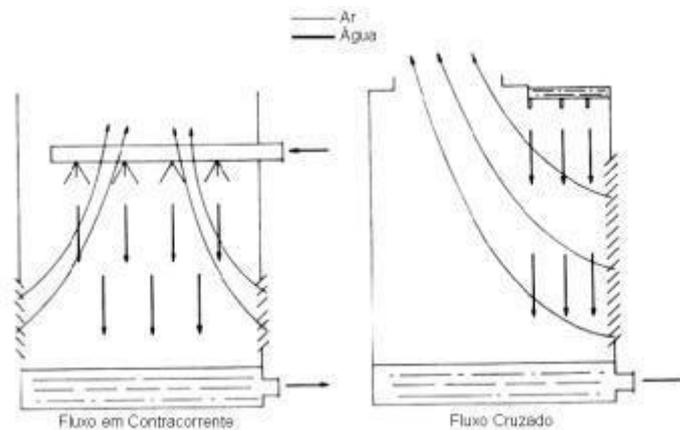


Disponível em: <https://mecufj.files.wordpress.com/2017/04/aula8-mec0121.pdf> Acesso em : 29 nov. 2018

Outro tipo de classificação baseia-se no fluxo relativo entre as correntes de água e ar (Figura 6). Seguindo-se esse critério tem-se:

- Torres de fluxo em contracorrente;
- Torres de fluxo cruzado.

Figura 6- Relação entre os fluxos de água e ar



Disponível em: <https://mecufj.files.wordpress.com/2017/04/aula8-mec0121.pdf> Acesso em : 29 nov. 2018

A classificação mais comumente utilizada e que apresenta relevância na avaliação de torres de resfriamento é baseada na forma de movimentação do ar através da mesma. De acordo com essa classificação têm-se:

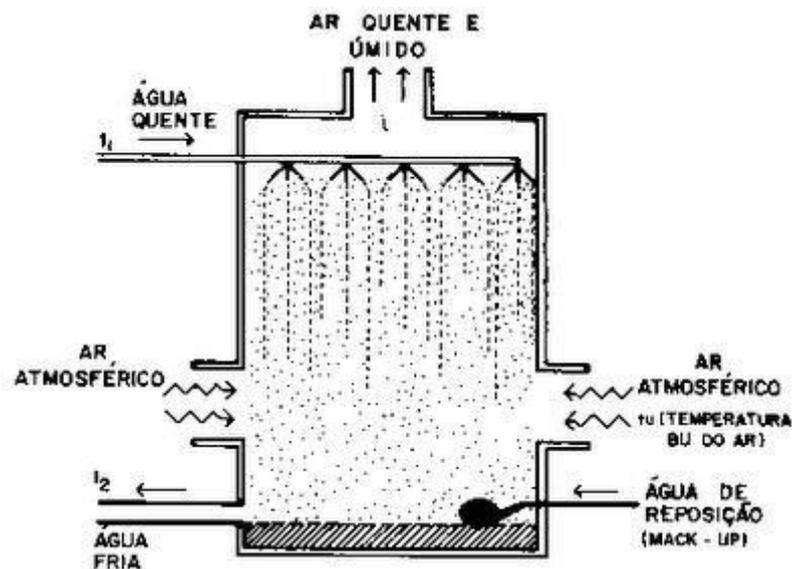
- Torres atmosféricas;
- Torres de tiragem mecânica forçada ou induzida.

3.3.1. Torres atmosféricas

Neste tipo de torre, em relação ao movimento do ar na horizontal, a água então cai de maneira que há um fluxo cruzado com a corrente de ar, o que produz o efeito de contracorrente devido às correntes de convecção geradas pela água quente. O vento é o principal interferente na corrente de ar, já que esta depende dele.

Salienta-se a diferença entre as que não possuem enchimento e as que possuem enchimento de respingo.

Figura 7- Torre de resfriamento atmosférica



Disponível em: <http://equipeoriginais.blogspot.com/2013/05/conhecendo-uma-torre-de-resfriamento.html>

Acesso em : 29 nov. 2018

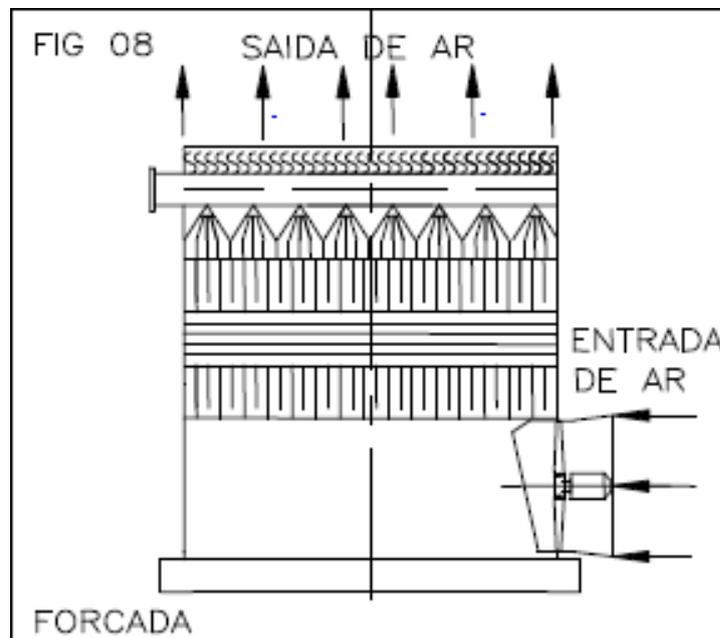
3.3.2. Torres de tiragem mecânica forçada ou induzida

Em torres com aspiração de ar mecânica, o mesmo circula pela torre através da força de ventiladores; induzida ou forçada são os tipos de aspiração mecânica em torres (Kern, 1950).

Na torre de resfriamento que possui aspiração mecânica induzida, o ventilador está localizado acima do enchimento da torre; já na que apresenta aspiração mecânica forçada, o ventilador se localiza na parte lateral da torre, logo abaixo do enchimento.

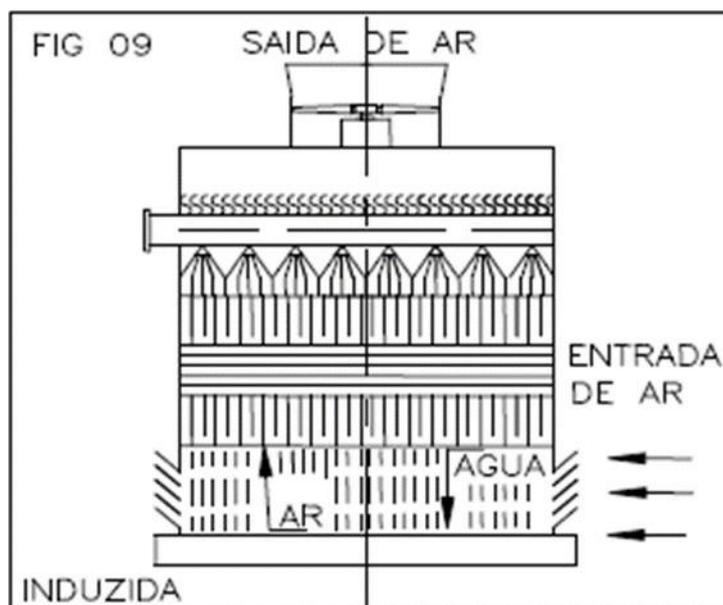
A Figura 8 e a Figura 9 demonstram torres de resfriamento com aspiração mecânica forçada e induzida, respectivamente. Nas torres com aspiração induzida, o ar sai com maior velocidade, o que faz com que o mesmo seja jogado para cima e é facilmente disperso. Porém, em torres com aspiração induzida, há a perda de carga do ar que é causada pelo enchimento da torre, o que influencia diretamente no aumento de potência do ventilador utilizado.

Figura 8- Torre de resfriamento em contracorrente com aspiração forçada



Disponível em: <http://www.torreresfriamento.com.br/torre-de-resfriamento/torre-de-resfriamento-02.htm>
 Acesso em : 29 nov. 2018

Figura 9- Torre de resfriamento em contracorrente com aspiração induzida



Disponível em: <http://www.torreresfriamento.com.br/torre-de-resfriamento/torre-de-resfriamento-02.htm>
 Acesso em : 29 nov. 2018

3.4. PRINCIPAIS PARÂMETROS DE ÁGUA CONTROLADOS EM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

Para um funcionamento ideal das torres de resfriamento, alguns parâmetros químicos e físicos da água, tanto na de circulação como de reposição, devem ser atenciosamente controlados e monitorados, uma vez que estes estão ligados com os maiores problemas em águas de resfriamento: formação de incrustação, corrosão além de desenvolvimento bacteriano e fúngico.

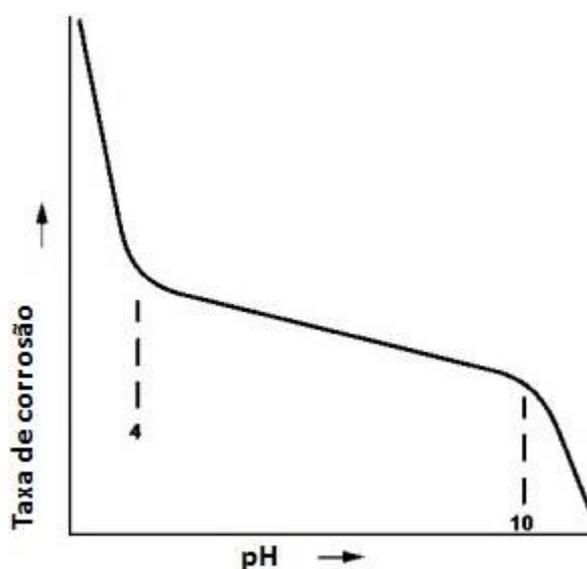
3.4.1. pH

O pH indica a acidez do meio e apresenta escala que vai de 0 a 14, com 0 indicando máxima acidez e 14 totalmente básico (alcalino) . O cálculo desse parâmetro é dado pela Equação 1.

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

O controle do pH é fundamental para o tratamento das águas que são utilizadas nas torres de resfriamento. Observa-se que há um aumento da corrosão quando o pH apresenta-se abaixo de um determinado valor, observa-se no Gráfico 1; a formação de depósitos e/ou incrustações tem início ou aumenta acima de uma faixa de pH; grande parte dos organismos vivem em pH igual a 7 e a água natural tem um pH entre 6,5 a 9,5 (NALCO, 2014).

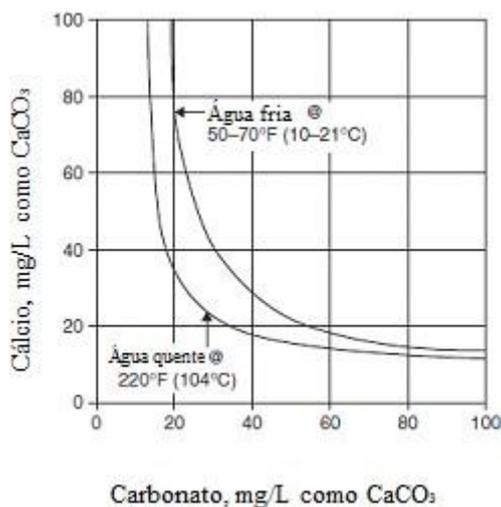
Gráfico 1 - Taxa de corrosão em função do pH da água



Fonte: Stanford III, 2003.

3.4.2. Dureza

Os íons de cálcio e magnésio são responsáveis por determinar a dureza da água, sendo o cálcio é o responsável por dois terços da dureza total dessa. A medida desse parâmetro é uma das principais fontes de depósitos e incrustações em trocadores de calor, caldeiras e tubulações, uma vez que os sais de magnésio (Mg^{2+}) e cálcio (Ca^{2+}) formados com os ânions sulfato (SO_4^{2-}), carbonato (CO_3^{2-}) e fosfato (PO_4^{3-}), tem a solubilidade diminuída de acordo com o aumento da temperatura, como apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Solubilidade de CaCO₃ em águas quentes e frias

Fonte: Nalco, 2009.

3.4.3. Teor de ferro

Na água o ferro apresenta-se em dois principais estados : ferroso e férrico. Para o estado ferroso, este está parcialmente oxidado (Fe^{2+}) e é muito solúvel, já como férrico (Fe^{3+}) ele encontra-se totalmente oxidado e tem solubilidade diminuída (PENNA, 2009).

3.4.4. Alcalinidade Total

Diz respeito à quantidade de íons hidróxido (OH^-), bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) presentes na água, e pode ser definida como a capacidade que um meio tem de reagir após a adição de um ácido. Representa a capacidade que um sistema aquoso tem para neutralizar ácidos sem perturbar de forma drástica as atividades biológicas que ocorrem nele, este é o efeito tampão natural da água (STANFORD III, 2003) (PENNA, 2009).

É um dos parâmetros mais importantes no controle da água, e apresenta relação com a coagulação, a diminuição da dureza e prevenção de corrosão (PENNA, 2009).

3.4.5. Sílica

A sílica total é dividida em dois tipos: a sílica reativa (íons silicatos SiO_4^{4-}) e a não reativa (coloidal, SiO_2). A sílica reativa reage com Ca^{2+} e Mg^{2+} formando silicatos complexos a altas temperaturas, e deposita-se nas áreas mais aquecidas do sistema de resfriamento, gerando incrustações muito duras e aderentes (GONDIM, 2014). A sílica não reativa é depositada na forma de depósitos sedimentares.

3.4.6. Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)

É a medida da condução de eletricidade água quando há a presença de sais dissolvidos. Uma alta concentração desses sais contidos na água significa uma alta condutividade, e assim uma maior probabilidade de ocasionar corrosão ou incrustação nos sistemas em que há troca térmica (PENNA, 2009). É medida em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro Siemens por centímetro).

A conversão da condutividade em sólidos totais dissolvidos (TDS) é apresentada na Tabela 1 (GONDIM, 2014).

Os sistemas de purga são realizados de acordo com os resultados de TDS.

Tabela 1- Conversão da condutividade para TDS

Condutividade($\mu\text{S}/\text{cm}$)	mg/L de sólidos totais dissolvidos (TDS)
< 1000	0,68 x condutividade
1000 a 4000	0,75 x condutividade
> 4000	0,82 x condutividade

Fonte: Gondim, 2014.

3.4.7. Cloretos

O íon cloreto (Cl^-) é um constituinte da água, por apresentar alta solubilidade. Estes íons são responsáveis por acelerar a corrosão de metais, especialmente em aços inoxidáveis, mesmo que esteja em baixas concentrações, a depender da temperatura (GONDIM, 2014).

4. METODOLOGIA

4.1.1. Método: Pesquisa descritiva

Esse método leva em consideração os conhecimentos que já estão estabelecidos, e visa descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987).

O presente trabalho também contou com a utilização do método de pesquisa documental e bibliográfica para o levantamento de dados e a referenciação do assunto escolhido.

Segundo FONSECA (2002,p.32):

A pesquisa documental trilha os mesmos caminhos da pesquisa bibliográfica, não sendo fácil por vezes distingui-las. A pesquisa bibliográfica utiliza fontes constituídas por material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos localizados em bibliotecas. A pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc.

O levantamento de dados e o tratamento dos mesmos, juntamente com a pesquisa documental e bibliográfica, possibilitaram a discussão do assunto proposto no presente trabalho.

4.1.2. O Objeto de estudo

A presente pesquisa foi realizada em uma empresa de fabricação de painéis de madeira em Uberaba, tendo em vista a importância da torre de resfriamento em seus processos.

A água foi coletada na torre responsável pelo resfriamento dos compressores e as análises realizadas por uma empresa terceira. Como apresentado anteriormente, a torre de resfriamento é do tipo fechada, e opera ligada aos compressores de ar. As análises são realizadas mensalmente e apresentam parâmetros previamente definidos, que são apresentados nos resultados deste.

Diante da importância da qualidade da água que é utilizada nessas torres, realizou-se o levantamento dos resultados de cinco meses do ano corrente das análises de laboratório da mesma e o posterior tratamento desses dados, com o intuito de relacionar a qualidade da água da torre com as variáveis de clima, tratamento, e outros possíveis interferentes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como citado , é de suma importância que a água das torres de resfriamento apresentem padrões de qualidade que impeçam alterações no equipamento e no processo de resfriamento.

5.1.1. Coleta de dados

Os dados foram obtidos através de laudos das análises de água dos cinco primeiros meses do ano de 2018: janeiro, fevereiro, março, abril e maio para que houvesse meio de comparação entre o comportamento no decorrer desse tempo.

A empresa contratada é responsável por realizar as análises e retornar o resultado à fábrica de painéis, além de fazer o acompanhamento e as intervenções necessárias diante de resultados fora dos controles. Os valores limites para cada parâmetro é apresentado também pelo laboratório técnico em concordância com as partes envolvidas.

A água é coletada na bacia da torre, sendo portanto a água de circulação da mesma. Os parâmetros apresentados foram : pH, alcalinidade total, cloretos, sílica, condutividade, teor de ferro e dureza.

5.1.2. Feedback dos dados

Com os laudos em mãos, foi possível realizar a organização dos mesmos de acordo com o mês, também apresentando os pontos de controle. A Tabela 2 apresenta os resultados e os controles para cada parâmetro físico-químico.

Tabela 2 - Resultados das análises da água de circulação, comparando com os respectivos controles

Análises		Meses					
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Controle
Parâmetros Físico- Químicos	pH	9,0	9,2	8,9	9,0	9,0	-
	Alcalinidade Total mg CaCO ₃ / L	206,2	323,5	91,0	404,0	116,0	< 500
	Cloretos ppm Cl ⁻	25,0	37,0	6,0	5,0	4,0	< 200
	Sílica mg/L	111,0	154,0	13,0	154,0	26,0	-
	Condutividade µS/cm	578,0	899,0	187,0	813,0	165,0	< 1300
	Ferro Total mg/L	0,0	0,7	0,3	0,1	0,1	< 5
	Dureza Total mg CaCO ₃ / L	229,0	283,0	75,0	330,0	80,0	< 400

Fonte : Arquivo pessoal

5.1. Análises dos dados

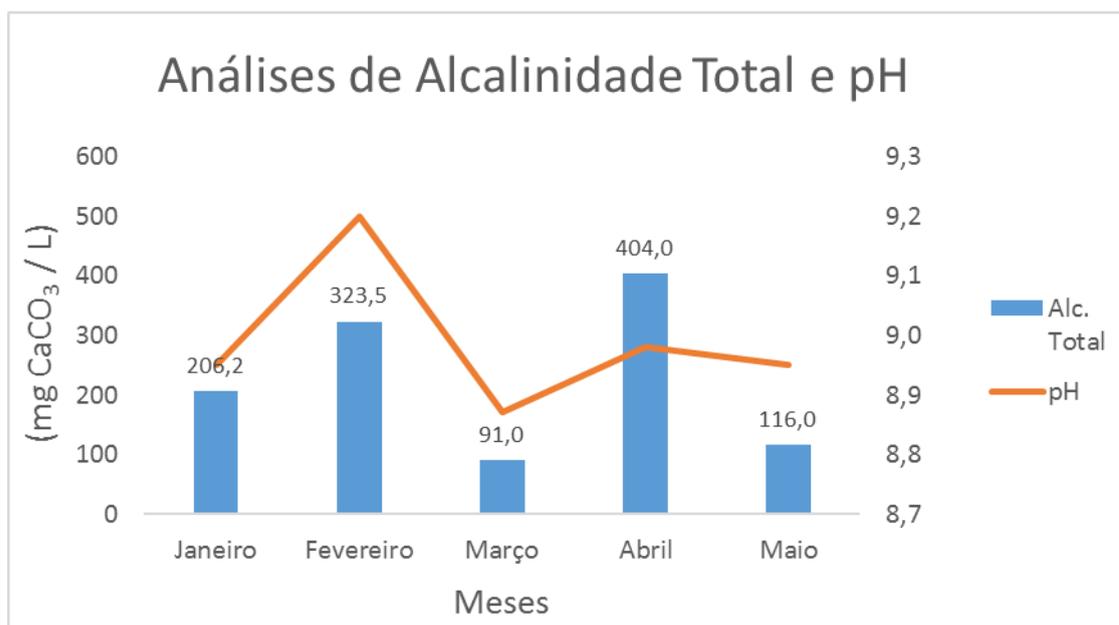
A partir dos resultados apresentados, procedeu-se à análise dos mesmos para determinar algumas relações entre eles e também em sua influência para os padrões de qualidade exigidos pela empresa.

Alguns dos parâmetros como pH e a Sílica não apresentam faixa de controle, portanto as comparações foram realizadas com embasamento bibliográfico.

5.2. Alcalinidade Total e pH

Os resultados de alcalinidade total obtidos estão plotados no gráfico a seguir:

Gráfico 3 - Resultados das análises de alcalinidade total e pH



Fonte: Acervo pessoal

No gráfico é possível observar o comportamento do parâmetro de alcalinidade total nos meses estudados. Diante do controle apresentado, sabe-se esse resultado deve ser menor que 500 mg de CaCO₃/L, portanto, no período observa-se todos os dados dentro do limite de controle.

No mês de março houve troca de água e lavagem da torre em questão, por esse motivo a alcalinidade baixa. Não havia concentrado os sais de carbonato e bicarbonato existentes na água. Essa concentração se dá pela evaporação da água no processo da troca térmica.

A alcalinidade total está totalmente ligada à presença de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos e sua faixa de trabalho torna possível um maior controle para evitar processos como corrosão e deposição nas tubulações do equipamento.

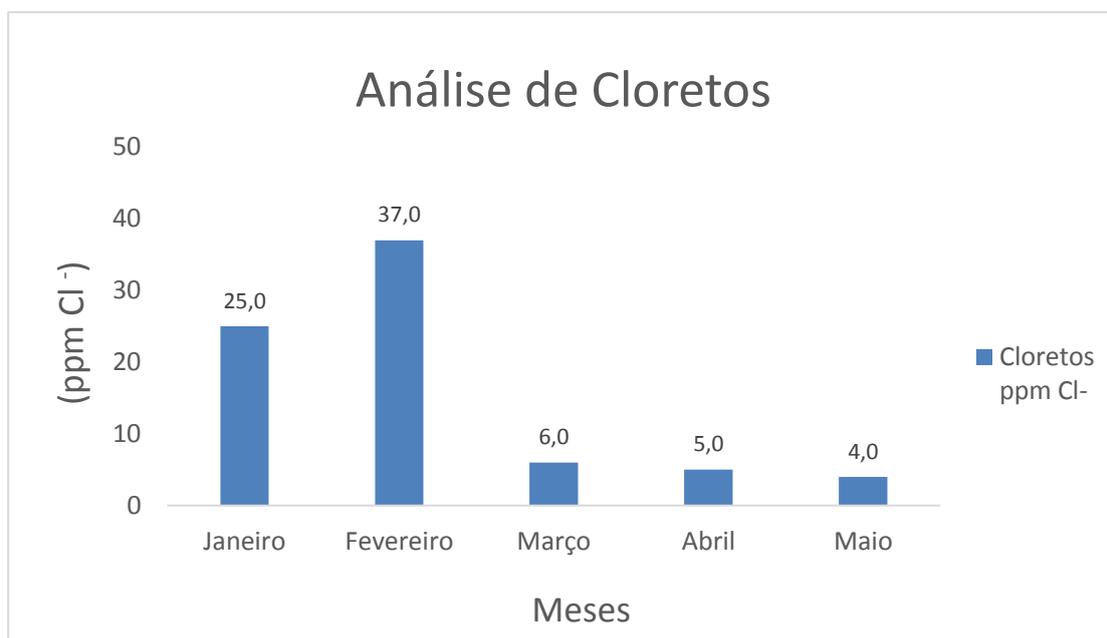
Para expressar o quanto alcalina está a água da torre, também é possível expressar em quantidades de OH (hidroxila), CO₃ (carbonato) e HCO₃, sendo comum dizer sobre alcalinidade de bicarbonatos (pH de 8,3 a 8,4) e/ou de carbonatos, (pH até 9,4).

O eixo secundário no gráfico apresenta o pH obtido pela análise, e observa-se que ele aumenta conforme a alcalinidade. Pode-se dizer que esses parâmetros são diretamente proporcionais e tem influência direta na conservação do equipamento e da tubulação.

Águas de pH baixo (menor que 6) tendem a ser corrosivas, enquanto o pH sendo mais alto (cerca de 10), tendem a formar incrustações. Esse parâmetro também determina a quantidade de carbono inorgânico presente na água como dióxido de carbono, bicarbonato e carbonato (RICHTER E NETTO, 1991).

5.2.1. Cloretos

Gráfico 4 - Resultados da análise de cloretos



Fonte: Acervo pessoal

O cloro é utilizado como meio químico econômico e acessível para o tratamento de água. Além de alta eficiência, sua forma líquida ou gasosa atribui facilidade para se ter uma água de qualidade, livre de microorganismos e que se enquadra nos parâmetros estabelecidos. O cloro líquido é altamente corrosivo, o que demanda tubulações com alta resistência à corrosão.

Nos resultados obtidos das análises realizadas, é possível observar um enquadramento da quantidade de cloro nos três últimos meses analisados. Embora todos os meses estejam dentro dos parâmetros de controle, março, abril e maio apresentaram queda significativa de cloretos livres. A linha de tendência demonstra o decaimento dos níveis de cloretos na água, sendo possível prever uma estabilidade dos mesmos nos meses seguintes, até a realimentação a depender dos níveis da água de entrada.

Esse fato se deve ao período em que a empresa de saneamento responsável pelo controle da dosagem de cloro da cidade, ter a necessidade de controlar essa dosagem de acordo com o enquadramento dessa água nesse parâmetro.

A realimentação da torre tem como consequência o espelhamento inicial da água que é utilizada, que vem da canalização da cidade.

5.3. Sílica

É um composto encontrado em todas as águas naturais, a sílica quando presente em águas de processos industriais torna-se indesejável, pois se combina com metais como magnésio, cálcio e alumínio formando incrustações difíceis de serem removidas principalmente em superfícies onde há troca de calor.

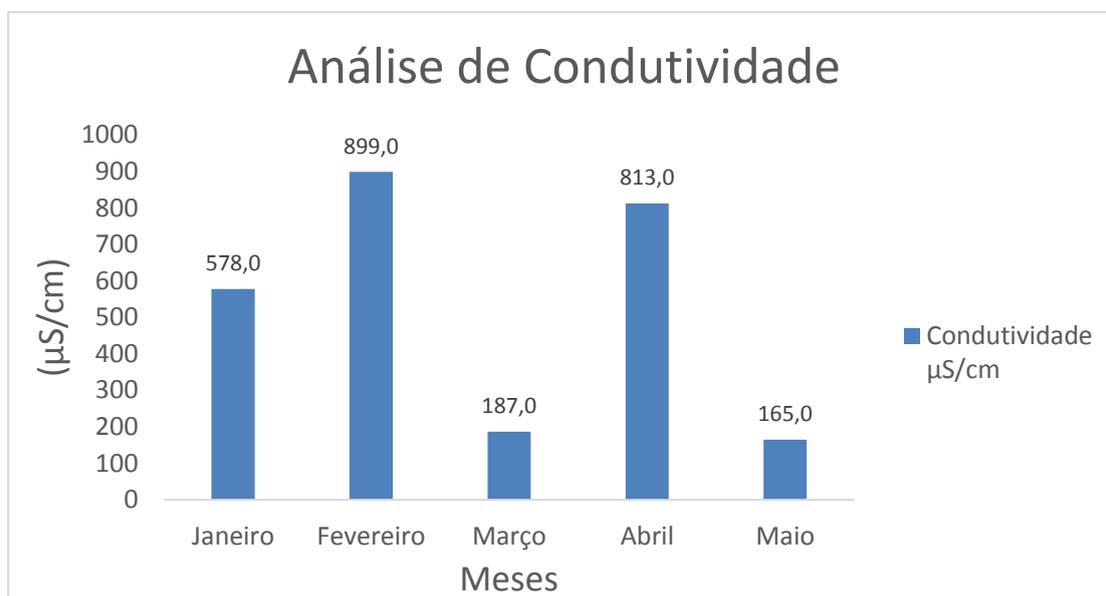
A sílica torna-se volátil quando é submetida a altas temperaturas, formando depósitos em superfícies, por isso, a remoção desse composto torna-se essencial na água destinada aos processos industriais. O teor é expresso em dióxido de silício (SiO_2) (Tomar, 1999).

Os resultados obtidos apresentam pontos fora da média nos meses de março e maio, níveis mais baixos desse composto podem ser atribuídos a um período não chuvoso.

De acordo com Brown (1967), a quantidade baixa de sílica encontrada em águas se atribui à lenta dissolução dos silicatos e a atividade dos organismos que a usam. Os autores Celligoi e Duarte (2002) tem consideração de que um teor reduzido de sílica nas águas é proveniente da lavagem de arenitos, com tempo de residência reduzido, já que neste tipo de rocha a sílica praticamente é encontrada em sua forma livre nos minerais essenciais silicáticos como o quartzo, apresentando-se menos solúvel.

5.4. Condutividade

Gráfico 5 - Resultados da análise de condutividade



Fonte: Acervo pessoal

Conforme já exposto, a condutividade elétrica da água indica a sua capacidade de transmitir a corrente elétrica pela presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânions e cátions. Quanto maior é a concentração iônica da solução, maior a ação eletrolítica e, portanto, maior a capacidade em conduzir corrente elétrica.

Assim como os demais parâmetros, observou-se diminuição do valor de condutividade nos meses de março e abril, isso se deve à menor quantidade de substâncias dissolvidas nessa água, alterando o valor em relação aos demais meses. Uma alta condutividade contribui no processo de corrosão. Quanto maior a quantidade de sólidos dissolvidos, maior a propensão à presença de cátions e ânions, e maior a condutividade dessa água.

5.4.1. Ferro Total

As águas de muitas regiões brasileiras, como é o caso do Triângulo Mineiro, em função das características geoquímicas das bacias de drenagem, apresentam naturalmente teores elevados de ferro. Concentrações altas deste elemento ocorrem em situações de ausência de oxigênio dissolvido, como em águas subterrâneas ou

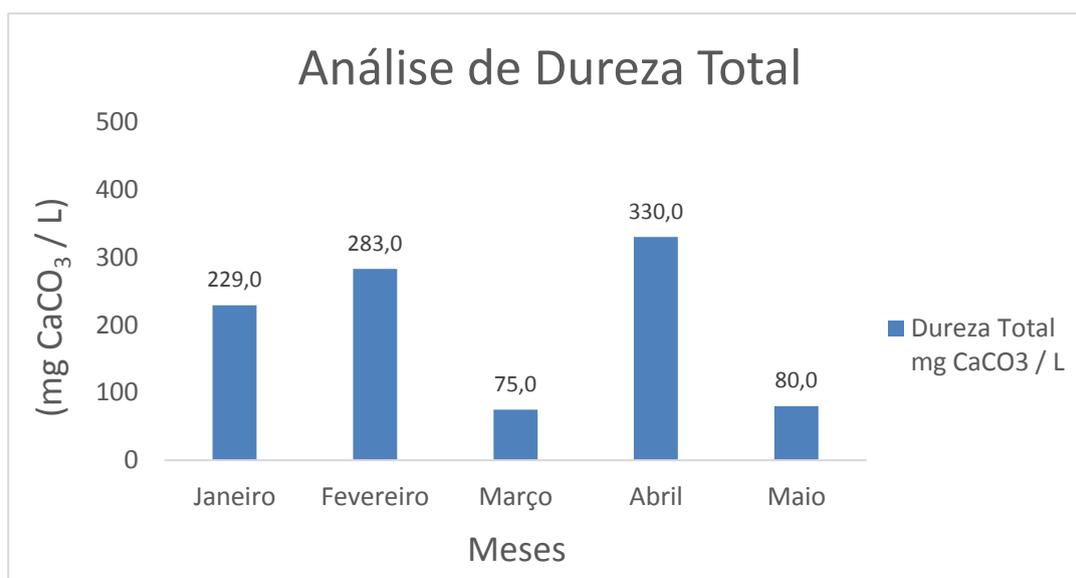
nas camadas mais profundas dos lagos. Em condições de anaerobiose, o ferro apresenta-se em sua forma solúvel (Fe^{2+}), voltando a precipitar-se quando em contato com o oxigênio (oxidação a Fe^{3+}).

É possível analisar pelos resultados dos meses escolhidos, que o nível desse composto ficou praticamente constante, tendo uma leve alteração, como nos outros parâmetros, nos meses de março e maio devido à realimentação da água de circulação.

5.4.2. Dureza Total

A seguir os dados obtidos da análise de dureza total:

Gráfico 6 - Resultados da análise de dureza total



Fonte: Acervo pessoal

A dureza total da água é um indicador da concentração de cátions na água. Os compostos associados ao parâmetro de dureza são os de cálcio e magnésio (Ca^{+2} , Mg^{+2}), além do ferro (Fe^{+2}), manganês (Mn^{+2}), estrôncio (Sr^{+2}) e alumínio (Al^{+3}). O presente parâmetro classifica-se como dureza carbonato ou dureza não carbonato, dependendo do ânion com o qual ela está associada. A dureza carbonato corresponde à alcalinidade, indicando a capacidade de tamponamento da água. A dureza pode ser classificada em mole ou branda: < 50 mg/L de CaCO_3 ; dureza moderada: entre 50

mg/L e 150 mg/L de CaCO_3 ; dura: entre 150 mg/L e 300 mg/L de CaCO_3 ; e muito dura: >300 mg/L de CaCO_3 .

Após o levantamento dos resultados das análises, foi possível perceber que todos os meses observados apresentaram os níveis de dureza total abaixo do controle, ou seja, em limites aceitáveis segundo os parâmetros pré estabelecidos, apenas nos meses de março e maio que apresentou queda.

Esses meses seguem a mesma linha dos resultados das análises de alcalinidade total e pH. Esses parâmetros estão totalmente ligados, pois todos apresentam principalmente os níveis de carbonatos e bicarbonatos presentes na água, portanto, a justificativa para a queda nos níveis dos mesmos nos meses supracitados, se dá em geral por ter sido um período de pouca chuva, ou seja, pouca lavagem de solo e rochas.

5.5. Análise geral

Após análise individual dos parâmetros de análises de qualidade de água da torre de resfriamento, foi possível perceber a correlação entre todos eles. As alterações principalmente nos meses de março e maio ocorreram em todos os itens analisados e podem ser relacionados ao mesmo motivo, o período com menor quantidade de chuvas e conseqüentemente uma água com níveis de sólidos dissolvidos mais baixo, além de ter sido realizada a realimentação da água de circulação da torre.

É possível observar que a dureza observada na água em análise, representa dureza temporária, ou carbonatada, que acontece quando a alcalinidade total é maior que a dureza total. Em casos como esse, os íons que conferem dureza à água estão associados ao ânion bicarbonato (HCO_3^-) (DREW PRODUTOS QUÍMICOS, 1979).

Os sólidos dissolvidos, podem estar presentes na água por terem sido carregados com a chuva, além da água de realimentação.

6. CONCLUSÃO

A metodologia de pesquisa para o presente trabalho foi de grande eficiência pois além de possibilitar as análises propostas , tornou possível um maior conhecimento dos parâmetros que definem a qualidade da água utilizada em torres de resfriamento e de outros equipamentos.

Diante dos resultados das análises, notou-se uma constância dos mesmos, exceto pelos meses de março e abril, nos quais todos os parâmetros apresentaram uma queda devido à realimentação de água de circulação e as intempéries.

Correlacionando com as características de clima e tempo, precipitação na cidade, foi possível concluir que essas alterações se deram devido , principalmente, aos níveis baixos de chuva, o que causa consequente chegada de água à torre sem maiores desvios na quantidade de sólidos dissolvidos.

É importante ressaltar a necessidade das análises mensais da água da torre de resfriamento visando menor impacto no processo, evitando perda de eficiência na troca de calor, além de conservação dos equipamentos e tubulações , e também de intervenções em tempo correto se necessário.

Ações de prevenção como o tratamento químico da água da torre também é primordial para uma qualidade significativa da mesma e de seus processos.

7. REFERÊNCIAS

- ALPINA. Torres de Resfriamento de Água . Artigos e Publicações Alpina Equipamentos. Disponível em:
< http://www.alpina.com.br/novoe/alpina_torres_concreto.pdf >. Acesso em 29 Nov. 18.
- CELLIGOI,A ; DUARTE, U . Hidrogeoquímica do Aquífero Caiuá do estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, n.51, p . 19-32, 2002
- COOLING TOWER INSTITUTE (CTI). Houston. Apresenta recursos e atividades desenvolvidas. Disponível em: <http://www.cti.org> .Acesso em 28 Nov. 18.
- DREW PRODUTOS QUÍMICOS. Princípios de tratamento de água industrial. São Paulo, 1979. ENR-Engineering News Record. Disponível em: . Acesso em: 27 Nov. 18.
- FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- NALCO. Cooling Water Treatment. Catálogo. Disponível em: < <http://www.nalco.com/documents/Brochures/B-34.pdf>>. Acesso em 27 Nov. 18
- NALCO COMPANY. The Nalco Water Handbook. 3 rd ed. New York: McGrawHill Professional. 2009. 1280 p.
- PENNA, K. S. F. Remoção do óleo do meio filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 96 p. Tese de Doutorado.
- RICHTER, C.A.; AZEVEDO NETTO, J.M. (1991). *Tratamento de Água. Tecnologia Atualizada*. São Paulo, Edgard Blücher, 332 p
- Stanford III, H. W., 2003, "HVAC Water Chillers and Cooling Towers ", Marcel Dekker, Inc, New York, US
- TOMAR, M. Quality assessment of water and wastewater. Boca Raton, Florida. CRC Press, 1999

